

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 01 SEP 1999	
WIPO	PCT

DE 99/1721

EJU

Bescheinigung

Die Siemens Aktiengesellschaft in München/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren und Gerät zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem FSK-Verfahren, insbesondere einem GFSK-Verfahren"

am 17. Juni 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole H 04 L und H 04 Q der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 22. Juli 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Seiler

Zeichen: 198 27 028.3

Seiler

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Beschreibung

Verfahren und Gerät zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem FSK-Verfahren, insbesondere einem GFSK-Verfahren

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Gerät und ein Verfahren zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem FSK-Verfahren wie beispielsweise dem GFSK-Verfahren, wie es unter anderem gemäß dem DECT-Standard verwendet wird.

10

Gemäß dem DECT-Standard werden Daten gemäß einem GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)-Verfahren moduliert. Hinsichtlich Einzelheiten des DECT-Standards wird beispielsweise auf David, Benkner, "Digitale Mobilfunksysteme, Täubner Verlag, Stuttgart, 1996, ISBN 3-519-06181-3 verwiesen. Gemäß dem DECT-Standard werden Daten in einem Frequenzbereich von 1880 bis 1900 MHz (im erweiterten Fall bis 1930 MHz) in 120 Duplexkanälen übertragen. Der Kanalabstand beträgt dabei 1728 kHz. Es wird das TDMA-Zugriffsverfahren mit Rahmen von 10 ms verwendet. Als Duplex-Verfahren wird das TDD-Verfahren verwendet.

15

20

Die vorliegende Erfindung findet indessen bei allen FSK-Verfahren und deren Derivaten Anwendung.

Während bei der Amplitudenumtastung die Amplitude einer Trägerschwingung durch das Modulieren der Digitalsignale verändert wird, die Frequenz jedoch konstant bleibt, ist es bei der Frequenzumtastung (FSK, Frequency Shift Keying) genau umgekehrt, d.h. die Information ist in der Frequenz enthalten. Das abrupte Umschalten von einer Frequenz zur anderen führt jedoch zu relativ hohen spektralen Nebenseitenbändern, wodurch eine hohe Bandbreite durch das Sendesignal belegt wird. Dieses Verhalten läßt sich durch eine Basisbandfilterung verbessern. Es wird ein Frequenzfilter $g(t)$ verwendet, das keinen rechteckigen Verlauf, sondern vielmehr einen geglätteten Verlauf aufweist. Die Glättungsfunktion kann dabei beispielsweise

30

35

weise von einem Gaußschen Tiefpaß übernommen werden. Somit wird eine GFSK-Modulation erhalten.

Die Impulsantwort $h(t)$ eines Gaußschen Tiefpasses lautet:

5

$$h(t) = \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} B \exp\left(-\frac{2\pi^2 B^2}{\ln 2} t^2\right)$$

wobei B die 3 dB Grenzfrequenz ist. Der Gaußsche Tiefpaß kann direkt vor den Modulationseingang eines VCO geschaltet werden. Am Modulationseingang liegen dann Impulse an, die sich aus der Faltung der ursprünglichen Rechteck-Impulse mit der Impulsantwort des Gaußschen Tiefpasses ergeben:

10

$$g(t) = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{2}{\ln 2}} \pi B \frac{t+T/2}{T}\right) - \operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{2}{\ln 2}} \pi B \frac{t-T/2}{T}\right) \right]$$

15

Hierbei ist $\operatorname{erf}(x)$ die Gaußsche Fehlerfunktion:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du$$

20 Das GFSK-Sendefilter läßt sich eindeutig durch seinen Modulationsindex ("BT-Verhältnis") kennzeichnen. In Figur 6 ist die Impulsantwort des Sendefilters für verschiedene Modulationsindizes (BT) dargestellt. Es ist dabei ersichtlich, daß für kleiner werdende Modulationsindizes die Impulsantwort breiter wird und somit ein "partial response"-Verhalten auftritt.

25

Für die Anwendung in DECT-Geräten wurde das Modulationsverfahren GFSK mit einem nominellen Modulationsindex (BT) von 0,5 spezifiziert, was einem Frequenzhub von 288 kHz entspricht. Bei der Festlegung des Modulationsindex ist bezüglich des Frequenzhubs ein Bereich von 202 kHz bis 403 kHz zulässig.

30

Gemäß dem Stand der Technik ist der Frequenzhub auf einen festen Wert eingestellt, eine Adaption ist somit nicht möglich.

5 Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Möglichkeit zur Schaffung der Adaption einer drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem FSK-Verfahren an verschiedene Umgebungs-Szenarien zu schaffen.

10 Gemäß dem Gedanken der Erfindung wird dabei der Frequenzhub eines FSK-Verfahrens, beispielsweise des GFSK-Verfahrens, abhängig von verschiedenen Parametern verändert.

15 Die oben genannte Aufgabe wird genauer gesagt durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 9 gelöst. Die Unteransprüche bilden den Gedanken der Erfindung in besonders vorteilhafter Weise weiter.

20 Gemäß der Erfindung ist also ein Verfahren zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem FSK-Verfahren vorgesehen. Dabei werden Daten empfangen und die Fehlerrate (BER, Bit Error Rate) der empfangenen Daten gemessen. Gleichzeitig wird die Feldstärke (RSSI-Wert) der empfangenen Daten gemessen. Es erfolgt eine Auswertung der Fehlerrate und der Feldstärke. Abhängig von der Auswertung der Fehlerrate und der Feldstärke erfolgt dann eine Einstellung des Frequenzhubs des FSK-Verfahrens, der zur drahtlosen Übertragung der Daten verwendet wird, um das Übertragungsverhalten zu optimieren.

30 Der Frequenzhub kann dabei innerhalb eines voreingestellten Bereichs verändert werden.

35 Die Optimierung des Übertragungsverhaltens kann anhand einer Tabelle erfolgen, die die erzielbare Reichweite der Übertragung abhängig von dem eingestellten Frequenzhub wiedergibt.

Für den Fall, daß die Auswertung eine geringe Feldstärke und gleichzeitig eine geringe Fehlerrate ergibt, kann der Fre-

quenzhub anhand der genannten Tabelle auf eine maximale Reichweite hin optimiert werden.

5 Die Optimierung des Übertragungsverhaltens kann anhand einer zweiten Tabelle erfolgen, die die erzielbare Störuneempfindlichkeit der Übertragung abhängig von dem eingestellten Frequenzhub wiedergibt.

10 Für den Fall, daß die Auswertung eine hohe Feldstärke und gleichzeitig eine hohe Fehlerrate ergibt, kann der Frequenzhub anhand der genannten zweiten Tabelle auf eine maximale Störuneempfindlichkeit hin optimiert werden.

15 Die Übertragung kann gemäß dem DECT-Standard erfolgen.

Der optimale Frequenzhub kann für eine maximale Reichweite geringer gewählt sein als der Frequenzhub für eine maximale Störsicherheit.

20 Gemäß der vorliegenden Erfindung ist weiterhin ein Gerät zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem FSK-Verfahren, wie es beispielsweise gemäß dem DECT-Standard verwendet wird, vorgesehen. Das Gerät weist dabei einen Empfänger sowie eine erste Meßvorrichtung für die Fehlerrate (BER, Bit Error Rate)
25 der empfangenen Daten auf. Weiterhin ist eine zweite Meßvorrichtung für die Feldstärke während des Empfangs der Daten vorgesehen. Eine Auswerteeinheit verarbeitet die gemessene Fehlerrate und die gemessene Feldstärke. Eine Steuereinheit ist weiterhin vorgesehen, um den Frequenzhub des FSK-Verfahrens,
30 der zur drahtlosen Übertragung der Daten durch einen Sender verwendet wird, abhängig von der gemessenen Fehlerrate und der gemessenen Feldstärke zur Optimierung des Übertragungsverhaltens einzustellen.

35 Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden beispielsweise Erläuterung eines Aus-

führungsbeispiels und bezugnehmend auf die begleitenden Zeichnungen näher ersichtlich, in denen zeigen:

5

Fig. 1 den Aufbau eines erfindungsgemäßen Geräts zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem FSK-Verfahren,

10

Fig. 2 die Bitfehlerrate in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) gemäß einer Simulation,

Fig. 3 die Bitfehlerrate einer drahtlosen Übertragung in Abhängigkeit vom Signal-Stör-Verhältnis für einen Frequenzhub des Störsignals von 340 kHz,

15

Fig. 4 die Bitfehlerrate in Abhängigkeit vom Signal-Stör-Verhältnis für einen Frequenzhub des Störsignals von 288 kHz,

20

Fig. 5a bis 5d die verschiedenen Spektren von GFSK-Signalen, die zur Messung gemäß den Fig. 2 bis 4 verwendet wurden, und

Fig. 6 die Impulsantwort $g(t)$ eines GFSK-Filters.

Die vorliegende Erfindung findet allgemein bei FSK-Verfahren Anwendung und wird beispielsweise anhand eines GFSK-Verfahrens beschrieben.

30

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Erscheinung ausgenutzt, daß sich abhängig von dem eingestellten Modulationsindex (BT-Wert) eines FSK-Verfahrens, beispielsweise des GFSK-Verfahrens ein unterschiedliches Systemverhalten der drahtlosen Übertragung beispielsweise bezüglich der Grenzümpfindlichkeit (Reichweite) oder der Störfestigkeit ergibt. Wird

35

für die Übertragung eine möglichst große Reichweite angestrebt, so unterscheidet sich erfindungsgemäß der dafür zu wählende Frequenzhub von dem Frequenzhub eines auf maximale

Störfestigkeit optimierten Systems. Daher wird gemäß der vor-
liegenden Erfindung nach Auswertung der Bitfehlerrate (BER,
Bit Error Rate) und des korrespondierenden RSSI (Radio Signal
Strength Indicator, Empfangsfeldstärke)-Werts durch eine ent-
sprechende Einstellung des Frequenzhubs (entsprechend einem
Modulationsindex) eine Adaption des Systems an verschiedene
Szenarien vorgenommen.

Wie in Fig. 1 ersichtlich, können digital modulierte Signale
durch eine Antenne 1 empfangen werden und zu einem Empfänger
(Receiver) 3 gegeben werden. Der Empfänger 3 gibt einerseits
die empfangenen Daten (RX-Data) 7 und andererseits den RSSI-
Wert 8 zu einer Auswerteeinheit 6. Genauer gesagt gibt der
Empfänger 3 die empfangenen Daten 7 und den RSSI-Wert 8 zu
einer Steuereinheit 13 in der Auswerteeinheit 6.

Neben der Steuereinheit 13 weist die Auswerteeinheit 6 eine
erste Tabelle 12 sowie eine zweite Tabelle 14 auf, die je-
weils mit der Steuereinheit 13 verbunden sind. Die Steuerein-
heit 13 in der Auswerteeinheit 6 steuert einerseits einen Lo-
kaloszillator (Synthesizer) 4 an, der mit dem Empfänger (Re-
ceiver) 3 sowie einem Sender (Transmitter) 5 des Mobilfunkge-
räts 16 verbunden ist. Andererseits steuert die Steuereinheit
13 der Auswerteeinheit 6 den Frequenzhub, den der Sender 5
verwendet, an 10. Die Auswerteeinheit 6 gibt weiterhin zu
sendende Daten 11 zu dem Sender 5, der diese Daten (TX-Data)
11 mit dem von der Steuereinheit 13 vorgegebenen Frequenzhub
10 auf die Frequenz des Lokaloszillators (Synthesizers) 4 mo-
duliert und dann zu einer Antenne 2 zur Aussendung über einen
drahtlosen Übertragungsweg 15 weitergibt.

Der Steuereinheit 13 in der Auswerteeinheit 6 werden also die
Empfangsdaten 7 sowie der RSSI-Wert 8 von dem Empfänger 3
übermittelt. In der Steuereinheit 13 werden die Bitfehlerrate
der empfangenen Daten 7 sowie die vom Empfänger 3 gemessene
Empfangsfeldstärke (RSSI-Wert) ausgewertet, so daß die fol-
genden Szenarien unterschieden werden können:

Fall a)

Keine oder geringe Beeinflussung durch Störsignale:
Die empfangenen Daten 7 weisen bei gleichzeitig geringer Empfangsfeldstärke kleine Bitfehlerraten auf.
In diesem Fall kann die Steuereinheit 13 den Frequenzhub des Senders 5 auf maximale Reichweite ansteuern.

Fall b)

Störungen durch andere Signale, wie beispielsweise DECT-Signale: In diesem Fall treten bei relativ hohen Empfangsfeldstärken verhältnismäßig hohe Bitfehlerraten auf. In diesem Fall steuert die Steuereinheit 13 der Auswerteeinheit 6 den Frequenzhub des Senders 5 auf maximale Störunempfindlichkeit.

Zur Optimierung des Systems auf maximale Reichweite bzw. maximale Störunempfindlichkeit sind die erste Tabelle 12 sowie die zweite Tabelle 14 in der Auswerteeinheit 6 vorgesehen. In der ersten Tabelle 12 ist die maximal erzielbare Reichweite der drahtlosen Übertragung 15 abhängig von den innerhalb eines erlaubten Bereichs auswählbaren Frequenzhub angegeben. In der zweiten Tabelle 14 ist die maximale Störunempfindlichkeit abhängig von dem Frequenzhub wiedergegeben.

Die Tabellen 12 und 14 werden beispielsweise vor der eigentlichen Übertragung durch Analyse des Systemverhaltens der drahtlosen Übertragung 15 durch Simulationen mit unterschiedlichen Frequenzhuben erstellt. In Fig. 2 wurde die Bitfehler-rate in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Verhältnis berechnet. Die aufgetragenen Kurven von Fig. 2 repräsentieren folgende Eckdaten:

Frequenzhub von 202 kHz: Untere Grenze des erlaubten Standards,

Frequenzhub von 288 kHz: Nominalwert,

Frequenzhub von 340 kHz: Frequenzhub, wie er gemäß dem Stand der Technik in manchen Geräten fest eingestellt ist,

Frequenzhub von 403 kHz: Obere erlaubte Grenze des DECT-Standards.

- 10 Durch Auswertung des in Fig. 2 gezeigten Diagramms gelangt man zu der Schlußfolgerung, daß bei einem auf maximale Reichweite optimierten System ein Frequenzhub von 340 kHz einzustellen ist, was dem oben genannten Fall a) entspricht.
- 15 Weitere Simulationen ergeben die Charakterisierung der Störfestigkeit einer DECT-Verbindung (Fall b)). Gemäß den in Fig. 3 und 4 dargestellten Berechnungen ist ersichtlich, daß in diesem Szenario weiterhin die Koexistenz verschiedener Systeme betrachtet werden muß. Bei einem Störsignal mit 340 kHz
- 20 Frequenzhub (z.B. benachbarte herkömmliche DECT-Systeme) liegt der optimale Frequenzhub, wie er bei der vorliegenden Erfindung verwendet werden soll, ebenfalls bei 340 kHz (siehe Fig. 3). Gemäß der vorliegenden Erfindung werden bei Gleichkanalstörungen bei allen Systemen der nominale Frequenzhub
- 25 von 288 kHz eingestellt (Fig. 4).

Fig. 5a bis 5d zeigen die bei den Simulationen verwendeten Testsignale.

- 30 Gemäß der vorliegenden Erfindung kann also durch Auswertung der Bitfehlerrate und des korrespondierenden RSSI-Werts durch entsprechende Einstellung des Frequenzhubs einer FSK-Übertragung eine Adaption des Systems an verschiedene Szenarien vorgenommen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem FSK-Verfahren,

5 aufweisend die folgenden Schritte:

- Empfang (1, 3) von Daten,
- Messung (6) der Fehlerrate der empfangenen Daten,
- Messung (3) der Feldstärke (8) beim Empfang der Daten,
- Auswertung (6) der Fehlerrate und der Feldstärke,
- 10 - Einstellen (5, 6, 10) des Frequenzhubs des FSK-Verfahrens, der zur drahtlosen Übertragung (15) der Daten verwendet wird, abhängig von der Auswertung (12) der Fehlerrate und der Feldstärke, um das Übertragungsverhalten zu optimieren (13).

15

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß der Frequenzhub innerhalb eines voreingestellten Bereichs verändert wird.

20

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Optimierung des Übertragungsverhaltens anhand einer Tabelle (12) erfolgt, die die erzielbare Reichweite der Übertragung (15) abhängig von dem eingestellten Frequenzhub wiedergibt.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

30 daß für den Fall, daß die Auswertung (6) eine geringe Feldstärke und gleichzeitig eine geringe Fehlerrate ergibt, der Frequenzhub anhand der Tabelle (12) auf eine maximale Reichweite hin optimiert (13) wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Optimierung des Übertragungsverhaltens anhand einer
zweiten Tabelle (14) erfolgt, die die erzielbare Störunemp-
findlichkeit der Übertragung (15) abhängig von dem einge-
stellten Frequenzhub wiedergibt.
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß für den Fall, daß die Auswertung (6) eine hohe Feldstärke
und gleichzeitig eine hohe Fehlerrate ergibt, der Frequenzhub
anhand der zweiten Tabelle (14) auf eine maximale Störunemp-
findlichkeit hin optimiert (13) wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Übertragung (15) gemäß dem DECT-Standard erfolgt.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß der optimale Frequenzhub für eine maximale Reichweite ge-
ringer gewählt ist als der Frequenzhub für eine maximale
Störsicherheit.
9. Gerät zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem
FSK-Verfahren,
aufweisend:
- einen Empfänger (3),
 - eine Meßvorrichtung (6) für die Fehlerrate von empfangenen
Daten,
 - eine zweite Meßvorrichtung (3) für die Feldstärke (8) beim
Empfang der Daten,
 - eine Auswerteeinheit (6) für die gemessene Fehlerrate und
die gemessene Feldstärke,

- eine Steuereinheit (13) zum Einstellen des Frequenzhubs des FSK-Verfahrens, der zur drahtlosen Übertragung (15) der Daten durch einen Sender (5) verwendet wird, abhängig von der gemessenen Fehlerrate und der gemessenen Feldstärke, um das Übertragungsverhalten zu optimieren.

10. Gerät nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Frequenzhub innerhalb eines voreingestellten Bereichs
10 veränderbar ist.

11. Gerät nach einem der Ansprüche 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß zur Optimierung des Übertragungsverhaltens in der Auswerteeinheit (6) eine Tabelle (12) vorgesehen ist, die die erzielbare Reichweite der Übertragung (15) abhängig von dem
15 eingestellten Frequenzhub wiedergibt.

12. Gerät nach Anspruch 11,
20 dadurch gekennzeichnet,
daß für den Fall, daß die Auswerteeinheit (6) eine geringe Feldstärke und gleichzeitig eine geringe Fehlerrate ermittelt, der Frequenzhub anhand der Tabelle (12) auf eine maximale Reichweite hin optimiert (13) wird.

13. Gerät nach einem der Ansprüche 9 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß zur Optimierung des Übertragungsverhaltens in der Auswerteeinheit (6) eine zweite Tabelle (14) vorgesehen ist, die
30 die erzielbare Störuneempfindlichkeit der Übertragung (15) abhängig von dem eingestellten Frequenzhub wiedergibt.

14. Gerät nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet,

daß für den Fall, daß die Auswerteeinheit (6) eine hohe Feldstärke und gleichzeitig eine hohe Fehlerrate ermittelt, der Frequenzhub anhand der zweiten Tabelle (14) auf eine maximale Störuneempfindlichkeit hin optimiert (13) wird.

5

15. Gerät nach einem der Ansprüche 9 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
daß der optimale Frequenzhub für eine maximale Reichweite geringer gewählt ist als der Frequenzhub für eine maximale
10 Störsicherheit.

15

16. Gerät nach einem der Ansprüche 9 bis 15,
dadurch gekennzeichnet,
daß es für eine Übertragung (15) gemäß dem DECT-Standard ausgelegt ist.

Zusammenfassung

Verfahren und Gerät zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem FSK-Verfahren, insbesondere einem GFSK-Verfahren

5

Gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Mobilfunkgerät zur drahtlosen Übertragung von Daten gemäß einem GFSK-Verfahren vorgesehen, wie es beispielsweise bei DECT-Geräten der Fall ist. Das Gerät weist einen Empfänger (6) eine erste Meßvor-

10 richtung (6) für die Fehlerrate von empfangenen Daten sowie eine zweite Meßvorrichtung (3) für die Feldstärke (8) beim

Empfang der Daten auf. Eine Auswerteeinheit (6) verarbeitet die gemessene Fehlerrate und die gemessene Feldstärke. Eine Steuereinheit 13 stellt abhängig von der gemessenen Fehler-

15 rate und von der gemessenen Feldstärke zur Optimierung des Übertragungsverhaltens den Frequenzhub des GFSK-Verfahrens, der zur drahtlosen Übertragung (15) der Daten durch einen Sender (5) in dem Mobilfunkgerät (16) verwendet wird, ein.

Zur Optimierung des Übertragungsverhaltens sind in der Auswerteeinheit (6) eine erste Tabelle (12) sowie eine zweite Tabelle (14) vorgesehen, die die erzielbare Reichweite bzw. die erzielbare Störuneempfindlichkeit der Übertragung (15) abhängig von dem gewählten Frequenzhub wiedergeben.

Figur 1

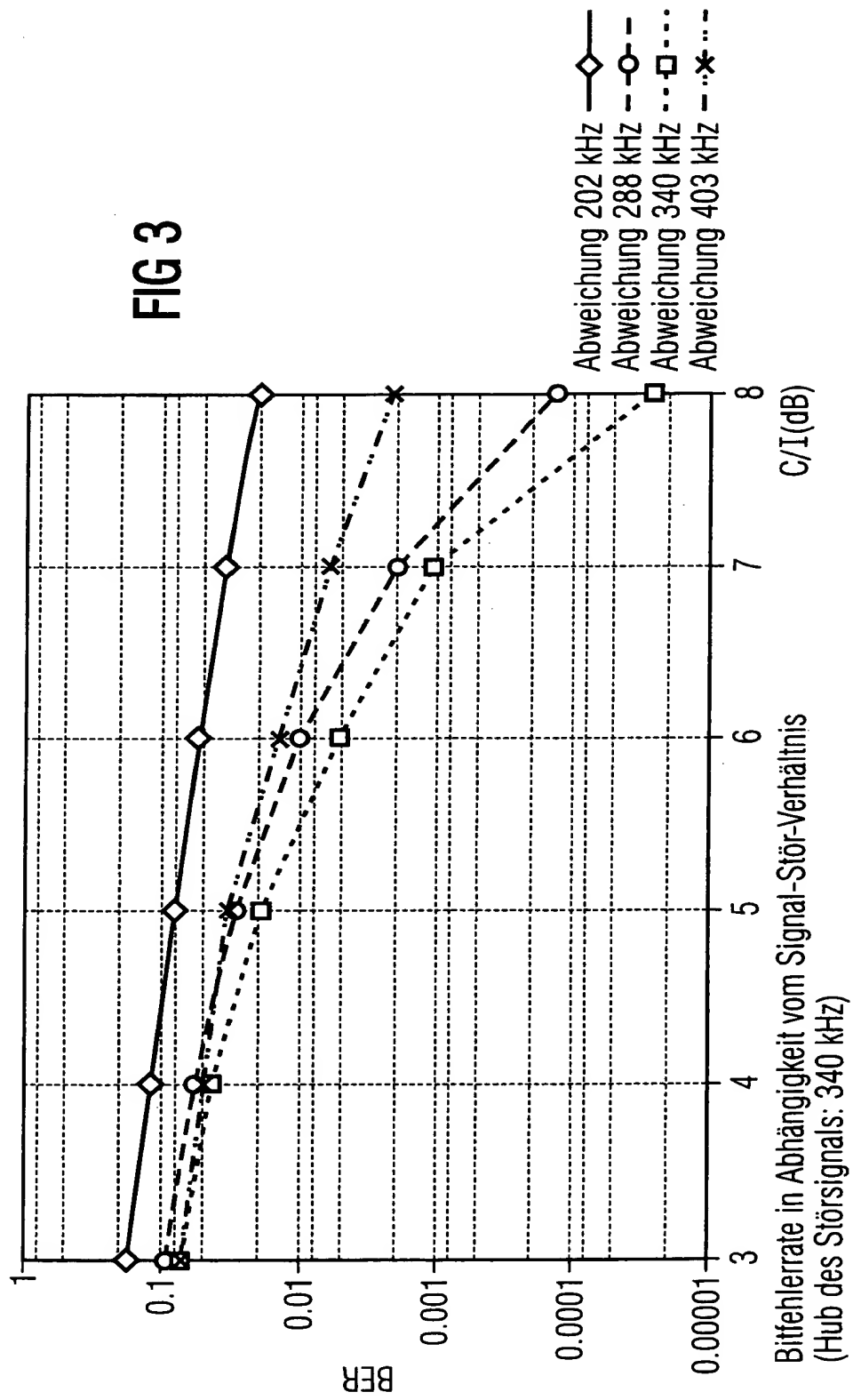
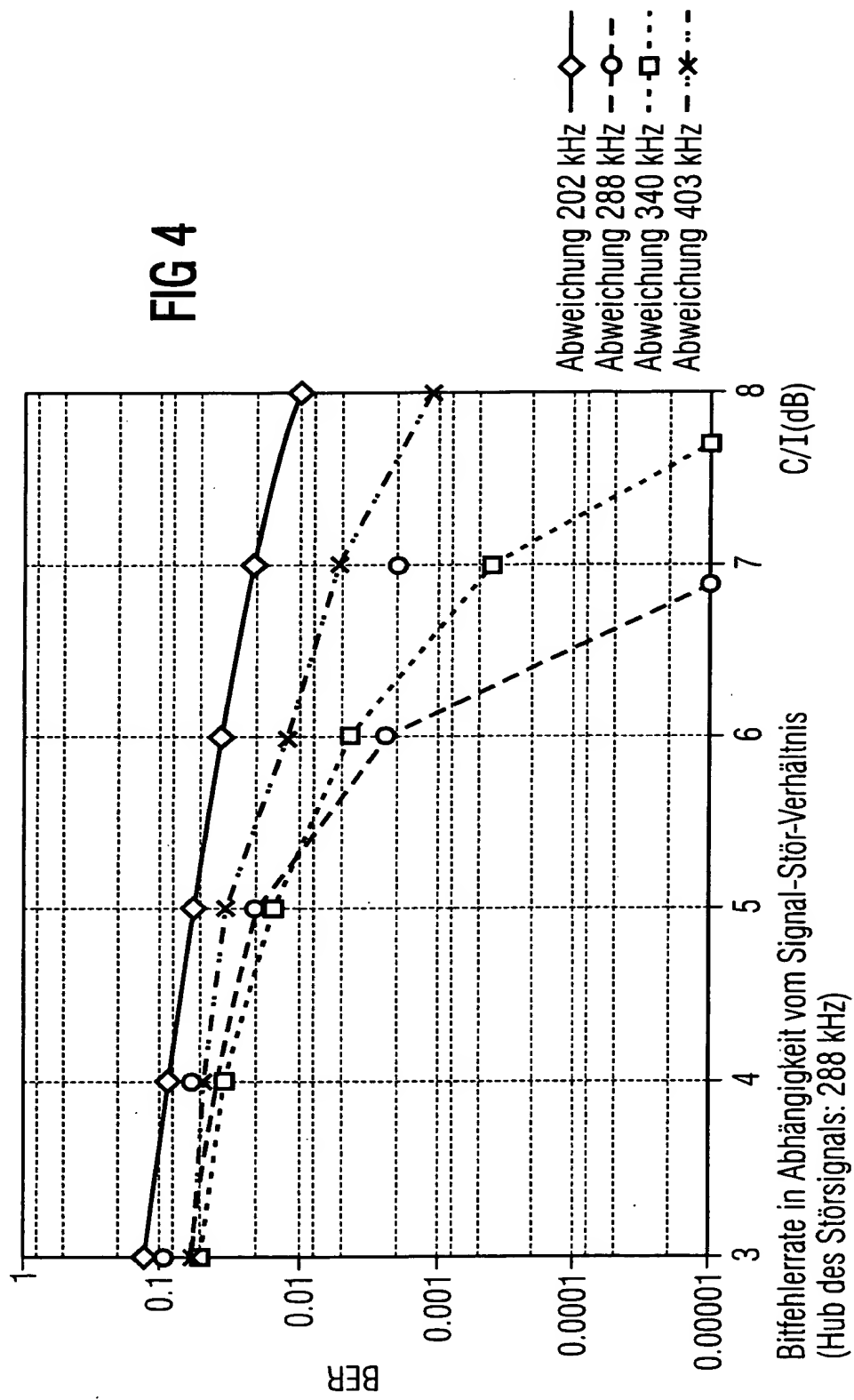
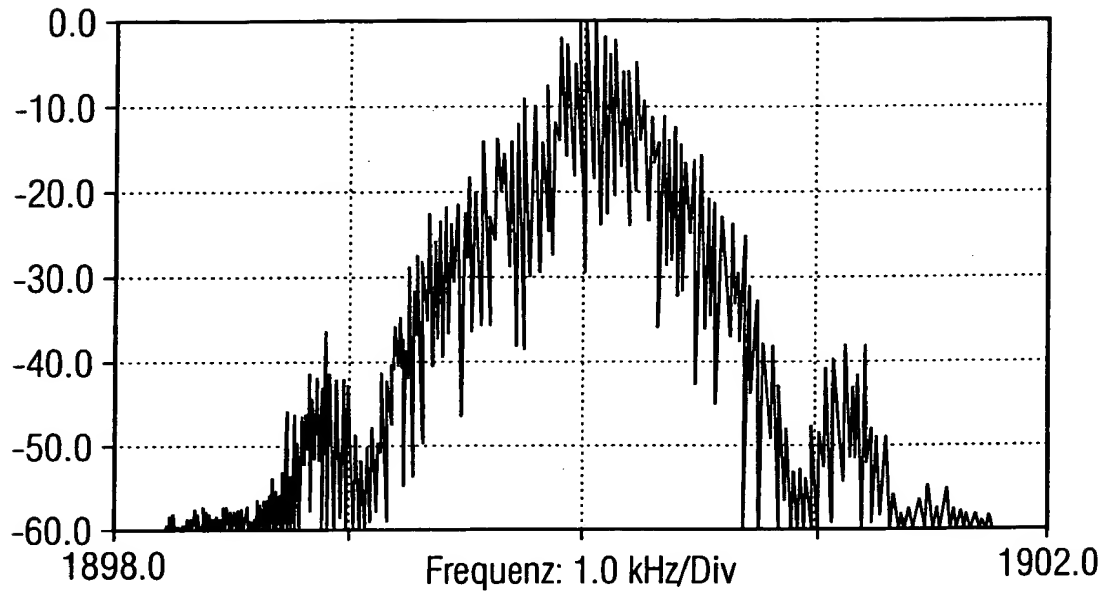


FIG 4



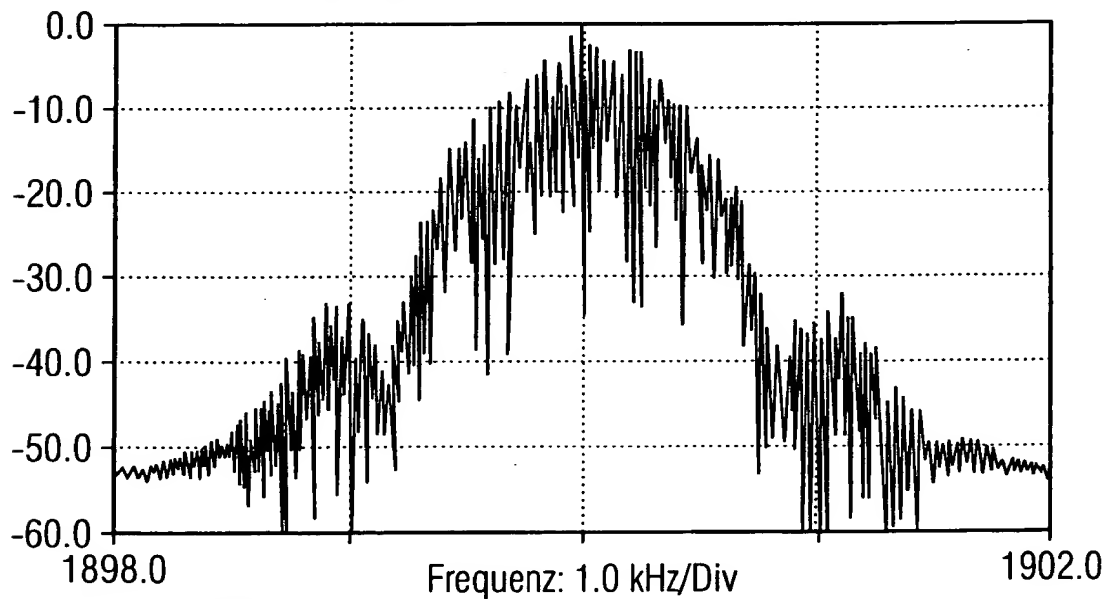
5/7

FIG 5A

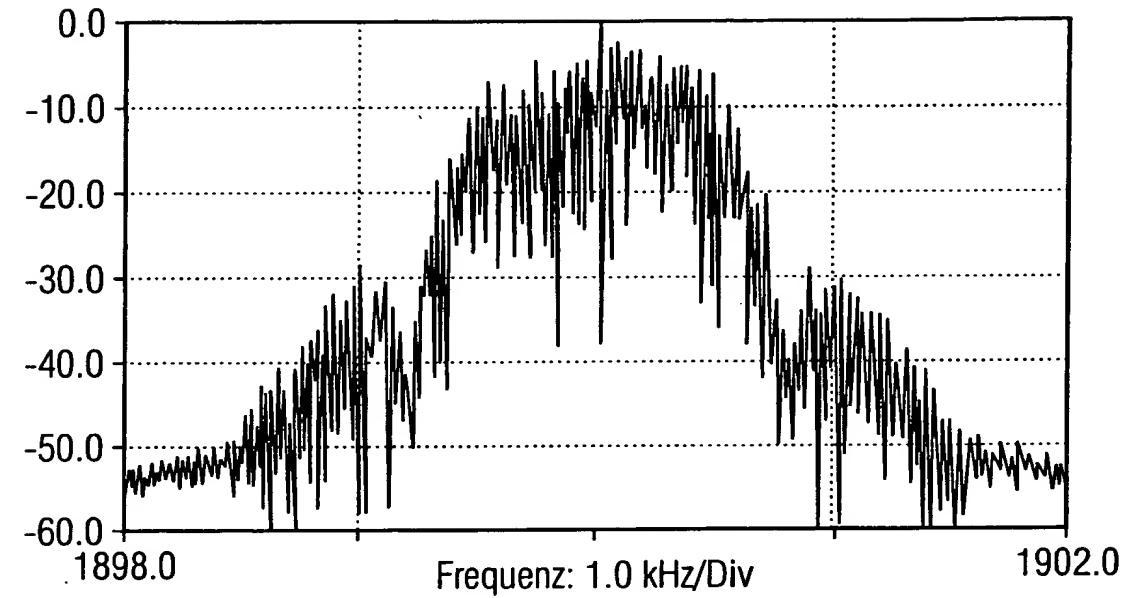


Abweichung: 202 kHz
Spektrum eines GFSK-Signals (202 kHz Hub)

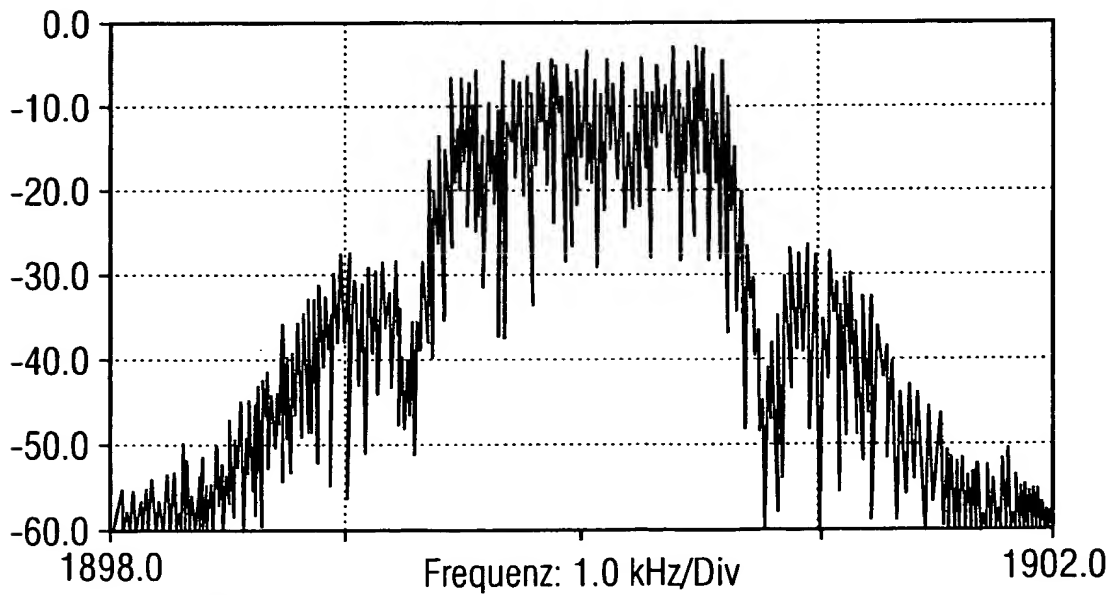
FIG 5B



Abweichung: 288 kHz
Spektrum eines GFSK-Signals (288 kHz Hub)

FIG 5C

Abweichung: 340 kHz
Spektrum eines GFSK-Signals (340 kHz Hub)

FIG 5D

Abweichung: 403 kHz
Spektrum eines GFSK-Signals (403 kHz Hub)

FIG 6

